丁酸梭菌对断奶仔猪生长性能、肠道结构和免疫功能的影响

郑有秀[1]　王　超[2]　邹晓庭[1]　王　丽[3]　卢建军[1*]

（1. 浙江大学动物科学学院，浙江省饲料与动物营养重点实验室，农业部（华东）动物营养与饲料重点实验室，浙江大学动物分子营养学教育部重点实验室，杭州 310058；2.南京农业大学动物科技学院，南京 210095；3.湖北绿雪生物产业有限公司，咸宁 437110）

摘　要：本试验旨在研究饲粮添加丁酸梭菌对断奶仔猪生长性能、肠道结构和免疫功能的影响。选取（25±1）日龄、体重（6.24±0.32） kg 的健康“杜×长×大”杂交仔猪 360 头，随机分为 5 个组，每组 4 个重复，每个重复 18 头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组分别饲喂在基础饲粮中添加 250、500、1 000 和 2 000 mg/kg 丁酸梭菌的试验饲粮。试验期 30 d。结果表明：1）250 和 1 000 mg/kg 丁酸梭菌添加组断奶仔猪的平均日采食量(ADFI)显著低于对照组（P<0.05）；250 和 500 mg/kg 丁酸梭菌添加组的腹泻率较对照组分别显著降低了 40.99%和 44.32%（P<0.05）。2）丁酸梭菌添加组断奶仔猪的空肠绒毛高度较对照组分别显著提高了 32.23%、35.71%、33.59%和 47.36%（P<0.05），空肠绒毛高度/隐窝深度较对照组分别提高了 47.24%（P<0.01），48.03%（P<0.01），19.69%（P<0.05）和 22.83%（P<0.05）。3）饲粮添加丁酸梭菌显著提高断奶仔猪的血清免疫球蛋白 A（IgA）和免疫球蛋白 G（IgG）含量（P<0.05），各组的血清免疫球蛋白 M（IgM）、补体 3（C3）和补体 4（C4）含量则无显著差异（P>0.05）。结果提示，25～55 日龄断奶仔猪饲粮添加 250～500 mg/kg 丁酸梭菌可改善断奶仔猪肠道结构，增强机体免疫功能。

关键词：丁酸梭菌；断奶仔猪；生长性能；肠道结构；免疫

中图分类号：S816.7

断奶是养猪生产中的一个必经环节。断奶过程中，仔猪面临营养、生理、环境、微生物和免疫应激[1]，发生肠道功能障碍，出现采食量降低和腹泻等症状[2]，小肠绒毛萎缩，影响营养物质的消化和吸收[3]。研究表明，仔猪饲粮中添加抗生素能在一定程度上缓解断奶应激

收稿日期：2017-12-25

基金项目：浙江省科技厅重点研发计划项目（2015C02022）；浙江省饲料与动物营养重点实验室开放基金（201705）

作者简介：郑有秀（1993—），女，湖北恩施人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: 249362708@qq.com

*通信作者：卢建军，副教授，硕士生导师，E-mail: jjlu@zju.edu.cn

[4]，但长期使用抗生素会对生态环境、畜禽甚至人类健康造成一定的负面影响[5-6]。益生菌是近年出现的新型饲料添加剂，能抑制病原菌的黏附和生长繁殖，保持动物胃肠道的微生态平衡，其代谢产生的益生物质可作为宿主的营养来源或帮助动物消化吸收。由于益生菌具有安全、高效、无污染等优点，其已经逐步应用于医疗、保健、食品、畜牧和水产等行业[7]。

丁酸梭菌又名酪酸梭菌，是一种益生菌活菌制剂，为革兰氏阳性厌氧菌，具有芽孢结构，能够耐受饲料加工过程中的高温、高压环境[8]，对人工胃液、肠液和胆盐也有较强耐受性[9]。丁酸梭菌是人和动物肠道中的正常菌群，能产生短链脂肪酸、氨基酸、酶等多种益生物质，具有促生长和增强机体免疫力等功能，其主要代谢产物——丁酸还可作为肠道上皮组织细胞再生和修复的营养物质[10]。基于丁酸梭菌的益生生理功能和作为饲料添加剂的可行性，其受到研究人员和养殖从业者的广泛关注，并作为一种新型饲料添加剂逐步应用于畜禽生产中，用以提高畜禽的生产性能，改善机体肠道环境，维持肠道结构和增强机体免疫功能[11-13]。近年来也有丁酸梭菌应用于养猪业的报道，但其作用效果不一[14-16]，作用机理尚不明确，需要进一步研究。本试验通过在饲粮中添加不同水平的丁酸梭菌，研究其对断奶仔猪生长性能、肠道结构和免疫功能的影响，为丁酸梭菌在生产中的实际应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

丁酸梭菌由湖北绿雪生物产业有限公司提供，活菌数为 2.0×10^8 CFU/g。

1.2 试验设计

选取（25±1）日龄、体重（6.24±0.32） kg 的健康“杜×长×大”杂交仔猪 360 头，随机分为 5 个组，每组 4 个重复，每个重复 18 头猪。对照组饲喂不添加丁酸梭菌的玉米–豆粕型基础饲粮，试验组分别饲喂在基础饲粮中添加 250、500、1 000 和 2 000 mg/kg 丁酸梭菌的试验饲粮。基础饲粮参照 NRC（2012）营养需要，按照嘉豪农业有限公司保育前期料配方配制，其组成及营养水平见表 1。各组饲粮均为粉料。试验期 30 d。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	55.65
豆粕 Soybean meal	18.00

膨化大豆 Extruded soybean	12.00
豆油 Soybean oil	1.50
乳清粉 Dried whey	4.00
鱼粉 Fish meal	4.00
食盐 NaCl	0.25
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.80
石粉 Limestone	1.00
赖氨酸盐酸盐 Lys•HCl	0.30
蛋氨酸 Met	0.50
预混料 Premix1)	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
消化能 DE/(MJ/kg)	14.35
粗蛋白质 CP	20.30
钙 Ca	0.86
总磷 TP	0.63
有效磷 AP	0.33
赖氨酸 Lys	1.28
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.83
苏氨酸 Thr	0.88

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the followings per kg of the diet: VA 8 000 IU，VB_1 4 mg，VB_2 3.6 mg，VB_5 40 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，VD_3 3 000 IU，VE 20 IU，VK_3 2 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg，*D*–泛酸 *D*-pantothenic acid 11 mg，烟酸 nicotinic acid 10 mg，抗氧化剂 antioxidant 100 mg，Cu (as copper sulfate) 10 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 30 mg，Zn (as zinc sulfate) 75 mg，I (as potassium iodide) 0.40 mg，Se (as sodium selenite) 0.30 mg。

2) 消化能和有效磷为计算值，其余为实测值。DE and AP were calculated values, while the others were measured values.

1.3 饲养管理

试验在浙江省杭州市萧山区嘉豪农业有限公司保育舍进行，采用漏缝地板保育设备饲养。试验各组各重复置于同一保育舍不同保育栏，使不同组别仔猪的饲养环境差别最小。每天 07:00、14:00 和 21:00 喂料，喂料量以料槽中有少量剩余料为宜，全期自由采食与饮水，预防免疫和饲养管理按常规方法进行。

试验结束当天禁食 12 h，充足饮水。按照每个重复至少随机选取 1 头的原则，各组随机选取 6 头仔猪，总计 30 头仔猪，称量宰前活重后颈动脉放血致死，采集血液、分离十二指肠、空肠、回肠、肝脏和脾脏组织。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 生长性能

试验开始和结束当天以重复为单位，对试验猪空腹称重，计算平均日增重(average daily gain，ADG)；每天记录各重复的采食量，计算平均日采食量(average daily intake，ADFI)，根据 ADG 和 ADFI 计算料重比(feed to gain ratio，F/G)；每天观察各重复仔猪的腹泻情况，计算腹泻率(diarrhea rate)；试验结束时统计各重复仔猪的死亡数，计算死淘率(mortality)。

F/G=全期饲粮消耗量（kg）/全期仔猪增重（kg）；

腹泻率（%）=[试验期内腹泻仔猪头数/（试验仔猪头数×试验天数）]×100；

死淘率（%）=（试验期内死淘仔猪头数/试验仔猪头数）×100。

1.4.2 肠道结构

取十二指肠、空肠、回肠中段约 1 cm 的肠段，在 0.9% NaCl 溶液中轻轻漂洗，去除肠道内容物后置于 4%多聚甲醛中固定 48 h 以上，经过冲水、梯度酒精脱水、二甲苯透明、石蜡包埋，5 μm 厚度连续切片，常规苏木精-伊红(HE)染色，脱水透明，固封。Nikon eclipse 80i 共聚焦荧光显微镜观察，NIS-Elements BR 3.2 系统拍照、采集并测量图片，每个切片选择 10 个左右相邻的肠绒毛和隐窝测量绒毛高度和隐窝深度，计算绒毛高度/隐窝深度。

1.4.3 免疫功能

屠宰后分离出肝脏和脾脏进行称重，计算免疫器官指数。

免疫器官指数（g/kg）=免疫器官鲜重（g）/宰前活重（kg）。

采集血液，静置，待血清析出后取上清液，3 500 r/min 离心 15 min，吸取上清液分装，置于-80 ℃冰箱保存。试剂盒测定血清补体 3（C3）、补体 4（C4）、免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G（IgG）和免疫球蛋白 M（IgM）含量。试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.5 数据统计分析

试验数据用 Excel 2003 进行初步整理，采用 SPSS 20.0 统计软件进行单因素方差分析

(one-way ANOVA)，试验数据用“平均值±标准差”表示，各组间采用 Turkey 多重比较进行差异显著性检验，以 $P<0.05$ 为差异显著。

2 结 果

2.1 丁酸梭菌对断奶仔猪生长性能的影响

由表 2 可知，饲粮添加丁酸梭菌对断奶仔猪的 ADG 和 F/G 无显著影响（$P>0.05$）；250 和 1 000 mg/kg 丁酸梭菌添加组的 ADFI 显著低于对照组（$P<0.05$）；250 和 500 mg/kg 丁酸梭菌添加组的腹泻率较对照组分别显著降低了 40.99%和 44.32%（$P<0.05$）。由图 1 可知，饲粮添加 250、500 和 2 000 mg/kg 丁酸梭菌，仔猪的死淘率分别降低了 67.11%、49.94%和 17.77%，但均未达到差异显著水平（$P>0.05$）。

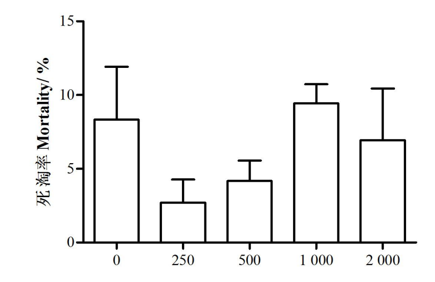
表 2 丁酸梭菌对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	丁酸梭菌 *Clostridium butyricum*/(mg/kg)				*P* 值 *P*-value
		250	500	1 000	2 000	
平均日增重 ADG/g	254.36±29.74	252.25±32.57	287.30±30.22	261.25±32.32	303.99±37.98	0.32
平均日采食量 ADFI/g	457.27±30.71^{a}	396.16±20.48^{b}	450.87±29.92^{ab}	399.72±35.31^{b}	505.66±27.19^{ab}	0.03
料重比 F/G	1.80±0.10	1.57±0.18	1.57±0.14	1.54±0.26	1.69±0.10	0.34
腹泻率 Diarrhea rate/%	8.71±1.88^{a}	5.14±0.0.63^{b}	4.85±2.17^{b}	5.52±1.37^{ab}	6.40±1.56^{ab}	0.03

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)，相邻字母表示差异显著($P<0.05$)，相间字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with the adjacent letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with alternate letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.



数据柱上标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著

（*P*>0.05）。图 2 同。

Value columns with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant differences (*P*>0.05). The same as Fig.2.

图 1　丁酸梭菌对断奶仔猪死淘率的影响

Fig.1　Effects of *Clostridium butyricum* on mortality of weaned piglets

2.2　丁酸梭菌对断奶仔猪肠道结构的影响

由表 3 可知，饲粮添加丁酸梭菌对断奶仔猪十二指肠和回肠的绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度以及空肠和回肠的隐窝深度均无显著影响（*P*>0.05）。丁酸梭菌添加组的空肠绒毛高度较对照组分别显著提高了 32.23%、35.71%、33.59%和 47.36%（*P*<0.05），空肠绒毛高度/隐窝深度较对照组分别显著提高了 47.24%（*P*<0.01），48.03%（*P*<0.01），19.69%（*P*<0.05）和 22.83%（*P*<0.05）。500 mg/kg 丁酸梭菌添加组的十二指肠隐窝深度显著低于 250 和 2 000 mg/kg 丁酸梭菌添加组（*P*<0.05）。

表 3　丁酸梭菌对断奶仔猪肠道结构的影响

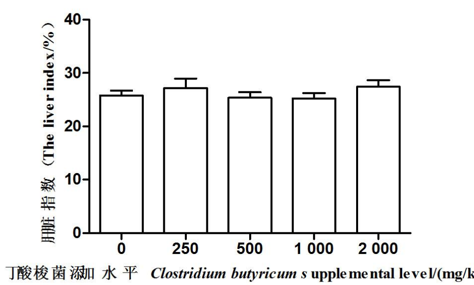
Table 3　Effects of *Clostridium butyricum* on intestinal structure of weaned piglets

项目 Items	对照组	丁酸梭菌 *Clostridium butyricum*/(mg/kg)				*P* 值
	Control group	250	500	1 000	2 000	*P*-value
十二指肠 Duodenum						
绒毛高度 Villous height/μm	355.46±22.60	389.41±14.75	402.11±90.72	371.92±60.65	464.52±113.38	0.44
隐窝深度 Crypt depth/μm	265.27±29.65^{ab}	296.59±2.48^{a}	226.88±27.33^{b}	287.65±32.81^{ab}	318.85±20.63^{a}	0.01
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.38±0.08	1.34±0.07	1.81±0.47	1.38±0.44	1.51±0.28	0.41
空肠 Jejunum						
绒毛高度 Villous height/μm	283.92±11.39^{b}	375.42±38.92^{a}	385.31±10.32^{a}	379.28±48.17^{a}	418.39±4.18^{a}	<0.01
隐窝深度 Crypt depth/μm	238.03±23.14	201.15±7.08	196.26±23.31	289.74±70.49	276.11±49.80	0.07
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.27±0.14^{c}	1.87±0.04^{a}	1.88±0.12^{a}	1.52±0.02^{b}	1.56±0.07^{b}	<0.01
回肠 Ileum						
绒毛高度 Villous height/μm	304.16±4.59	412.11±71.57	345.36±6.04	399.28±84.83	392.70±85.22	0.26
隐窝深度 Crypt depth/μm	176.27±49.45	244.35±40.23	211.63±36.15	251.97±106.37	242.33±117.89	0.75

绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.56±0.20	1.98±0.11	1.75±0.34	1.73±0.39	1.82±0.40	0.58

2.3 丁酸梭菌对断奶仔猪免疫功能的影响

所屠宰断奶仔猪的免疫器官均无异常。由图 2 可知，各组断奶仔猪的肝脏指数和脾脏指数均无显著差异（*P*>0.05）。由表 4 可知，丁酸梭菌添加组断奶仔猪的血清 IgA 含量较对照组分别显著提高了 112.11%、112.32%、165.55%和 139.67%（*P*<0.05），血清 IgG 含量较对照组分别显著提高了 61.27%、46.43%、59.59%和 43.33%（*P*<0.05）。各组的血清 IgM、C3 和 C4 含量无显著差异(*P*＞0.05)。



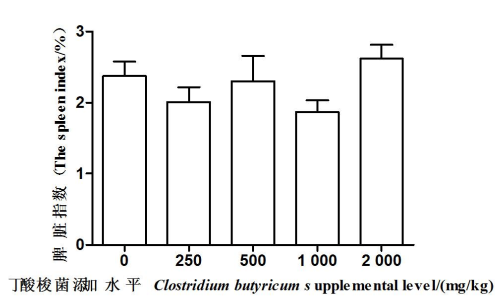


图 2 丁酸梭菌对断奶仔猪免疫器官指数的影响

Fig.2 Effects of *Clostridium butyricum* on immune organ indexes of weaned piglets

表 4 丁酸梭菌对断奶仔猪血清免疫指标的影响

Table 4 Effects of *Clostridium butyricum* on serum immunological indexes of weaned piglets

μg/mL

项目 Items	对照组	丁酸梭菌 *Clostridium butyricum*/(mg/kg)				*P* 值
	Control group	250	500	1 000	2 000	*P*-value
免疫球蛋白 M IgM	22.93±7.81	21.75±10.49	27.91±6.25	28.48±5.87	24.24±13.54	0.65
免疫球蛋白 G IgG	71.46±3.16^b	115.24±9.41^a	104.64±11.61^a	114.04±6.54^a	102.43±14.91^a	<0.01
免疫球蛋白 A IgA	4.79±1.82^b	10.16±5.84^a	10.17±3.28^a	12.72±2.97^a	11.48±3.94^a	0.03
补体 3 C3	95.80±32.02	124.77±25.17	125.09±31.07	132.90±92.81	91.10±58.21	0.57
补体 4 C4	12.39±0.95	12.69±2.25	12.58±2.61	10.12±0.46	12.33±1.84	0.28

3 讨 论

3.1 丁酸梭菌对断奶仔猪生长性能的影响

丁酸梭菌代谢可产生淀粉酶、维生素和氨基酸等物质，促进机体对脂肪和蛋白质的消化吸收[17]。本研究结果显示，饲粮添加丁酸梭菌有提高 ADG、降低 F/G 的趋势，与庞敏等[15]

的研究结果相一致。但也有研究发现，饲粮添加丁酸梭菌可显著提高断奶仔猪的 ADG[14,18]。试验结果不一致，可能是因为丁酸梭菌的产品质量、添加的剂量和时间、试验时间长短和试验动物日龄等不同。在本试验条件下，与对照组相比，250 mg/kg 丁酸梭菌添加组仔猪的 ADG 无显著差异，ADFI 却显著降低，F/G 降低了 12.78%，提示丁酸梭菌能提高营养物质的消化吸收，提高生长性能。与 250 和 500 mg/kg 丁酸梭菌添加组相比，1 000 和 2 000 mg/kg 丁酸梭菌添加组断奶仔猪的生长性能无显著差异，可能是因为丁酸梭菌与肠道有益菌竞争营养物质和定植位点，导致可供机体利用的营养物质减少，不利于维持肠道微生态平衡。

断奶仔猪受到营养、心理和环境等因素的影响产生应激，表现出消化不良、腹泻、生长发育迟缓、抗病力较弱等症状，严重时可能死亡[19]。丁酸梭菌可通过刺激黏膜免疫[20]，提高机体的免疫力和抗病力，拮抗动物病原菌，维持和调节肠道微生态平衡[21]，有效缓解仔猪腹泻。本试验结果验证了上述观点，饲粮添加丁酸梭菌显著降低断奶仔猪的腹泻率，与肖雪梅等[16]的研究结果一致。肖克权等[22]研究发现，饲粮添加丁酸梭菌能改善麻鸡的生长性能，降低死淘率，本试验也得出相似的结论。

3.2 丁酸梭菌对断奶仔猪肠道结构的影响

断奶应激会造成肠道损伤，表现为肠道绒毛高度降低，隐窝加深，肠道形态由浓密、手指状绒毛群变为平滑、舌头状绒毛面，小肠主动吸收能力降低等[23]。庞敏等[15]研究发现，饲粮添加500 mg/kg丁酸梭菌能显著降低断奶仔猪的回肠隐窝深度，提高绒毛高度/隐窝深度。本试验结果显示，饲粮添加丁酸梭菌能显著提高断奶仔猪的空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度，可能是因为丁酸梭菌代谢产生的丁酸可作为肠道上皮组织细胞再生和修复的主要营养物质，对肠道上皮组织的再生和修复有促进作用[6]。丁酸梭菌是人和动物肠道的正常菌群，饲粮添加丁酸梭菌还可改善因断奶引起的肠道菌群失衡，缓解不良环境对肠道结构修复造成的压力。

3.3 丁酸梭菌对断奶仔猪免疫功能的影响

陈振等[24]在断奶仔猪饲粮中添加复合益生菌（含丁酸梭菌），发现可显著提高仔猪的肝脏指数和脾脏指数。邓裴月[25]研究发现，饲粮单独添加丁酸梭菌或谷氨酰胺对断奶仔猪的肝脏指数和脾脏指数均无显著影响；而当丁酸梭菌与谷氨酰胺复合饲喂时，仔猪的肝脏指数和脾脏指数显著高于对照组。本试验结果显示，丁酸梭菌对断奶仔猪的肝脏指数和脾脏指数无显著影响，说明丁酸梭菌对断奶仔猪肝脏指数和脾脏指数的影响较小或无影响。

免疫球蛋白是介导体液免疫反应的主要抗体，能与特异性抗原相结合引起免疫反应，进而发挥保护机体的作用，其含量的升高提示机体免疫力提高。王腾浩[26]研究发现，饲粮添

加丁酸梭菌ZJU-1具有提高断奶仔猪血清IgG、IgM和C4含量的趋势，可显著提高血清IgA和C3含量。本试验结果与该研究结果相似，与对照组相比，饲粮添加丁酸梭菌能显著提高血清IgA和IgG含量。结果提示，饲粮添加丁酸梭菌可能是通过刺激IgA和IgG的分泌来提高机体免疫功能。

4 结 论

① 饲粮添加适宜水平的丁酸梭菌可降低断奶仔猪的腹泻率，改善肠道结构。

② 饲粮添加丁酸梭菌可能是通过刺激机体分泌 IgA 和 IgG，增强机体的免疫功能。

③ 综合各项指标，25～55 日龄断奶仔猪饲粮丁酸梭菌的添加量以 250～500 mg/kg 为宜。

参考文献：

[1] LALLÈS J P.Nutrition and gut health of the young pig around weaning:what news[J].Archiva Zootechnica,2008,11(1):5–15.

[2] LALLÈS J P,BOUDRY G,FAVIER C,et al.Gut function and dysfunction in young pigs:physiology[J].Physiology,2004,53(4):301–316.

[3] MONTAGNE L,BOUDRY G,FAVIER C,et al.Main intestinal markers associated with the changes in gut architecture and function in piglets after weaning[J].British Journal of Nutrition,2007,97(1):45–57.

[4] 张佩华,贺建华,陈孝珊,等.不同药物及其组合对防治断奶仔猪腹泻效果研究[J].中国饲料,2002(2):22–24.

[5] 施杏芬,陆国林,周文海,等.抗生素饲料添加剂的危害及防止对策[J].中国动物检疫,2005,22(1):37–38.

[6] 王斌,周颖,姜庆五.环境中抗生素污染及对人群健康的影响[J].中华预防医学杂志,2014,48(6):540–544.

[7] 李娜,赵敏.益生菌替代抗生素在动物中的应用[J].黑龙江医药,2010,23(6):899–900.

[8] 贾丽楠,崔嘉,陈宝江.丁酸梭菌对肉仔鸡饲料加工过程及消化道环境的耐受性研究[J].动物营养学报,2017,29(10):3787–3791.

[9] 王腾浩,宗鑫,宋德广,等.产抑菌蛋白的丁酸梭菌的筛选和鉴定及体外益生功能研究[J].中国畜牧杂志,2015,51(13):75–81.

[10] 陈筱筱,赵娜,MANIZHA,等.酪酸梭状芽孢杆菌生理功能的研究进展[J].中外医疗,2015,34(28):196–198.

[11] ZHANG L,ZHANG L L,ZHAN X A,et al.Effects of dietary supplementation of probiotic, *Clostridium butyricum* on growth performance,immune response,intestinal barrier function,and digestive enzyme activity in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* K88[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2016(1):107–115.

[12] ZHANG L,CAO G T,ZENG X F,et al.Effects of *Clostridium butyricum* on growth performance,immune function,and cecal microflora in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* K88[J].Poultry Science,2014,93(1):46–53.

[13] KONG Q,HE G,JIA J,et al.Oral administration of *Clostridium butyricum* for modulating gastrointestinal microflora in mice[J].Current Microbiology,2011,62(2):512–517.

[14] 张金生,陈文,张科伟,等.酪酸菌对弱仔猪生长性能的影响[J].饲料工业,2009,30(8):7–8.

[15] 庞敏,卢庆萍,夏冰,等.酪酸梭菌对断奶仔猪生长性能、肠道组织形态及肠道通透性的影响[J].动物营养学报,2016,28(7):2113–2121.

[16] 肖雪梅,黄晶.丁酸钠、丁酸梭菌在断奶仔猪中的应用[J].黑龙江畜牧兽医,2013,9:70-72.

[17] ARAKI Y,ANDOH A,FUJIYAMA Y,et al.Oral administration of a product derived from *Clostridium butyricum* in rats[J].International Journal of Molecular Medicine,2002,9(1):53–57.

[18] 李玉鹏,李海花,王柳懿,等.丁酸梭菌对断奶仔猪生长性能、肠道屏障功能和血清细胞因子含量的影响[J].动物营养学报,2017,29(8):2961–2968.

[19] 王恬.仔猪断奶应激及营养调控措施的应用[J].畜牧与兽医,2009,41(5):1–4.

[20] MURAYAMA T, MITA N, TANAKA M,et al.Effects of orally administered *Clostridium butyricum* MIYAIRI 588 on mucosal immunity in mice[J].Veterinary Immunology & Immunopathology,1995,48(3–4):333–342.

[21] YANG C M, CAO G T, FERKET P R,et al.Effects of probiotic, *Clostridium butyricum*, on growth performance, immune function, and cecal microflora in broiler chickens[J]. Poultry Science,2012,91(9):2121-2129.

[22] 肖克权,张龙林.丁酸梭菌、枯草芽孢杆菌对麻鸡生长性能的影响[J].广东饲料,2017,26(9):30-32.

[23] 贾聪慧,杨彩梅,曾新福,等.丁酸梭菌对肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(3):908–915.

[24] 陈振,谢全喜,亓秀晔,等.复合益生菌替代抗生素对断奶仔猪生长性能、胃肠道pH和免疫器官指数的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(4):112–115.

[25] 邓斐月.丁酸梭菌与谷氨酰胺对断奶仔猪生长性能的影响及其机理研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2010:30–39.

[26] 王腾浩.新型丁酸梭菌筛选及其对断奶仔猪生长性能和肠道功能影响的研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2015:98–108.

Effects of *Clostridium butyricum* on Growth Performance, Intestinal Structure and Immune Function of Weaned Piglets

ZHENG Youxiu[1] WANG Chao[2] ZOU Xiaoting[1] WANG Li[3] LU Jianjun[1*]

(*1.Key Laboratory of Feed and Animal Nutrition of Zhejiang Province, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed in East China, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Animal Molecular Nutrition, Ministry of Education, College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou* 310058, *China;* 2. *College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*; 3. *Hubei green snow biological industry Co., Ltd, Xianning* 437110, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of dietary *Clostridium butyricum* on growth performance, intestinal structure and immune function of weaned piglets. Three hundred and sixty (25±1) days of age healthy "Duroc×Landrace×Yorkshire" hybrid piglets with the body weight of (6.24±0.32) kg were randomly divided into 5 groups with 4 replicates per group and 18 piglets per replicate. Piglets in control group were fed a basal diet, and those in experimental groups were fed the basal diet supplemented with 250, 500, 1 000 and 2 000 mg/kg *Clostridium butyricum*, respectively. The experiment lasted for 30 days. The results showed as follows: 1) the average daily feed intake (ADFI) of weaned piglets in 250 and 1 000 mg/kg *Clostridium butyricum* supplemented groups was significantly lower than that in control group (P<0.05). Compared with control group, diarrhea rate in 250 and 500 mg/kg *Clostridium butyricum* supplemented groups was significantly decreased by 40.99% and 44.32% (P<0.05), respectively. 2) Compared with control group, villous height of jejunum of weaned piglets in *Clostridium butyricum* supplemented groups was significantly increased by 32.23%, 35.71%, 33.59% and 47.36% (P<0.05), respectively; and the ratio of villous height to crypt depth of jejunum was

*Corresponding author, associate professor, E-mail: jjlu@zju.edu.cn （责任编辑 李慧英）

significantly increased by 47.24% (*P*<0.01), 48.03% (*P*<0.01), 19.69% (*P*<0.05) and 22.83% (*P*<0.05), respectively. 3) Dietary *Clostridium butyricum* significantly increased the contents of immunoglobulin A (IgA) and immunoglobulin G (IgG) in serum of weaned piglets (*P*<0.05), and there were no significant differences in the contents of immunoglobulin M (IgM), complement 3 (C3) and complement 4 (C4) in serum between all groups (*P*>0.05). The results indicate that dietary 250 to 500 mg/kg *Clostridium butyricum* can improve intestinal structure and immune function of weaned piglets from 25 to 55 days of age.

Key words: *Clostridium butyricum*; weaned piglets; growth performance; intestinal structure; immunity